

航空機の乗務員スケジューリングシステム

伊倉 義郎

1. はじめに

北米の航空業界は、良きにつけ悪きにつけ現在一番オペレーションズ・リサーチが華々しく使われている業界ではないだろうか。60年代から70年代にかけて、石油会社でLPによる石油精製モデルが流行したのに似て、80年代には航空会社でのORの利用が盛んであった。

その時代時代の花形産業で、ORが一番よく使われるという現象なのかもしれないが、米国の主要産業が製造業からサービス業へ移行しつつあるのに並行して、サービス部門でのORの利用例が最近多く見うけられるようになった。金融、運輸、通信等のサービス産業でのORが今後ますます発展していく様子である。

2. 1992年のイールドマネージメント

さて本題に入る前に、現在の北米の航空会社の体質を浮き彫りにする1つのトピックスを紹介したい。1992年は、米国の航空業界にとっては大変な年であった。2年続きの赤字傾向がさらに悪化し、大手航空会社が軒並み大幅損失を報告した年であった。業界全体に競争が進みすぎていて、各社の成績不振は急に改善される見通しがない。おまけに、米国内の競争に加えて、ヨーロッパ、アジア地区のキャリアーとのグローバルな競争も始まりつつある。

このような過当競争をひきおこしている原因の1つに、イールドマネージメントという概念があげられる。これは簡単にいうと、各フライトの満杯度をどうやって作り出すかということであるが、具体的には、各座席クラス（ファースト、エコノミー等）の数、およびそれらの料金の設定のノウハウを意味し、いかに各フライトからの利益を最大化するかを主眼としている。たとえば、1カ月前までに予約すると正規料金の半額以下になるスーパーセイバーや、1週間前までの特別ディスカウント

料金、ビジネス客を対象とした正規のエコノミー料金など、あの手この手の設定になっている。しかも、これらの料金に対応した座席数が時間とともに変化したり、混んでいるフライトにはオーバーブッキングしたりすることもある。

北米での航空運賃は、70年代後半から自由化され、各社各社まちまちになった。それに加えて、最近のイールドマネージメントの流行により、ますます複雑怪奇になってきている。そこで、昨年夏、アメリカン航空はこの複雑なシステムを簡素化し、しかも乗客に有利になるような“値下げ”を発表した。といっても、もとの料金体系がはつきりしていなかったもので、ある路線では値下げであっても別な路線では値上げであったのかもしれないが、いずれにしても、心機一転経営収支の黒字化というホームランをねらったものだが、結果としては各社がそれに追従したため、逆に競争が激し、収益も悪化してしまいはじめになった。おまけに、経済全体に不景気であったことも加わり、1992年は航空業界にとっては最悪の年となってしまった。

このイールドマネージメントというものは、いわば航空会社と乗客とのゲームのようなものである。航空会社は、乗客に高い切符をできるだけ早く買わせたいが、逆に大衆は安い切符をできるだけ遅く買いたいのが本音。そこで航空会社では、優秀なORマンを雇って、確率最適化モデル等を駆使し、ゲームに勝つべく努力している。ORアナリストの視点からは、この問題は会社にとって重要であり、大変チャレンジングではある。しかし、過ぎたるは及ばざるがごとしで、はたして期待どおりの効果が出るかどうかは明らかではない。

ちなみに、最近ではこのイールドマネージメントのコンセプトがホテル、レンタカー、そしてついには通信業にまで応用されつつあるということである。

3. クルースケジューリング

3.1 航空会社でのスケジューリングシステム

航空会社では、昔からよくORが使われてきた。路線ダイヤのスケジューリング、機材割当、乗務員(クルー)

いくら よしろう SAITECH Inc.

3 Wagner Court, Holmdel, New Jersey 07733,
U. S. A.

スケジューリング等のシステムが開発され、盛んに利用されている。その中でも、クルースケジューリングは一番古典的で、投資効果のはっきりする応用例である。前述のイールドマネージメントや機材割当て最適化は、収入の増大という不確実な目的をもっている。それがゆえにシステムを開発しても、どれだけの投資効果があるのかいまいとつきりしない。それに比べて、クルースケジューリングは、コストの削減という100%明らかな指標があるので、投資効果をはっきりと測定できる。よりよいクルースケジューリングを行なうことによって月々何億円ものコストが削減でき、しかもそれが必ず実現可能である。というわけで、各社独自のシステムを作ったり、アメリカン航空のように自社システムを他社へ売ったり、これを専門とするシステムハウスもあり、話題に事欠かない業界となっている。

クルースケジューリングシステムは単独として稼働するわけではない。その上流には、営業マーケティング部門の作成する毎月の路線スケジュール、それに合わせた機材の割当て等がある。また、クルースケジューリングと並行して、機材のメンテナンススケジュール、燃料の調達プラン、空港での地上乗務員スケジューリング等もある。これらのシステム全体が航空会社でのプランニング・スケジューリングシステムを構成する。

プランナーたちは、これらのシステムを駆使して月次のスケジュールを作成する。実際の業務にかかわることなので、数多くの制約条件があり、それらを十分順守したスケジュールを組む必要がある。年々業務条件は複雑になっていくので、おのおののステップで使われるシステムは短時間でより複雑なモデルを解く能力を要求される。

3.1 クルースケジューリング問題

航空会社のクルー（操縦士や客室乗務員）用乗務スケジュール作成システムは、航空会社にとって欠くことのできないシステムの1つである。大手航空会社では、何千人というクルーをかかえており、これらのクルーをいかに効率よく活用するかというのは重要な管理問題である。これは、単にクルーの運用コストのみならず、乗客へ対するサービスの向上やクルーの労働条件、仕事への満足度等にも関係する種々の側面をもっているからである。

クルーの乗務パターンというのは、図1に示されたようなものになっている。この乗務パターンの例では、ニューアークを自宅のあるベースとして、1日目アトラン

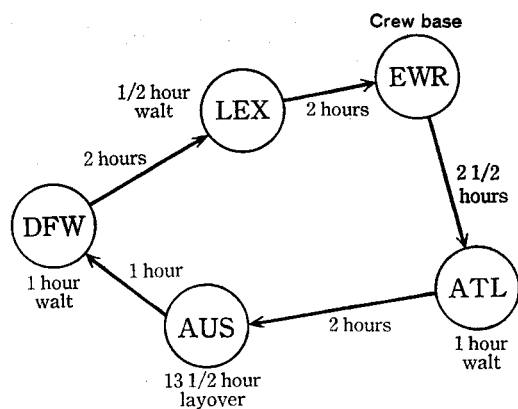


図1 トリップの例

タ経由でオースティン泊り、翌日ダラス、レキシントンを経てニューアークへ戻るというスケジュールとなっている。このあと自宅で何日か休息後、再び似たような乗務パターンを繰り返すか、または訓練や講習へ参加することとなる。このような、ベースからベースへ戻る乗務パターンはトリップと呼ばれていて、トリップを何個か継ぎ合わせたもので1人のクルーの月次乗務パターンが決められることになっている。個々のトリップは、政府(FAA)や航空会社のさまざまな制約条件を満足していなければならない。この制約条件の中には、たとえば1日の最大飛行時間とか、空港での最小休息時間等があり、数十にものぼることもある。ちなみに、日本の航空会社の例としては文献[2]、[4]等を参照されたい。

さて、トリップにも効率の良いものと悪いものがある。もしクルーの空港での待ち時間や、デッドヘッド(クルーが乗務せずに次のフライトに乗り継ぎをすること)が多いと、そのようなトリップは効率がよくない。特に、北米の航空会社では、このような非実働時間をソフトタイムとして、その長さに比例した手当を支払うことになっている。であるから、ソフトタイムを少なくすればするほど、クルーの実働時間の割合が増し、経費の削減につながるわけである。また、クルーにしても、待ち時間は少なければ少ないほど、ホームベースに早く帰れるわけで、その方がよりよき家庭生活をおくれるという話である。

アジア・ヨーロッパ地区の航空会社は、このようなソフトタイムに比例した手当というシステムはとっていないが、効率のよいトリップを使用することにこしたことはない。

全クルーの月次乗務パターンを決めるためには、多数

の異なったトリップを生成しなければならない。たとえば、北米の大手航空会社では、数十の都市の間で毎日千近いフライトを運行しているが、そのすべてのフライトをトリップでもってカバーしなければならない。この最適トリップの決定問題というのが、じつは厄介なシロモノである。というのも、まず可能なトリップの数が莫大であること。これは、全米の航空システムが、ハブとスポークの形になっていて、ハブでのクルーの乗り継ぎの可能性が数多くあり、可能なトリップの数が指数関数的に増加することによる。莫大な中から最適なものを選ぶのは容易でない。

さらに問題を複雑にするのは、フライトのパターンが毎日少しずつ変わっていくという点である。週日のフライトスケジュールはだいたい毎日同じであるが、月水金と火木の違いもある。また、休日や週末は特別なスケジュールとなる。それらを考慮した上で、最適なトリップを発生させて、うまい具合にすべてのフライトをカバーするのがトリップの最適化問題である。

航空会社によっては、長年の経験からあらかじめ決まったパターンのトリップをもって、それらを繰り返し使うということを行なっている。しかしながら、毎月毎月のスケジュールは需要に合わせて変化するだろうし、路線の削除や追加が頻繁に起こるのであろうから、その月々に合わせた最適トリップの選択を行なうのがベストである。

最適なトリップを選択することによって、上記のソフトタイムを最小化でき、経費の削減につながる。これは北米での航空会社ではクルー手当の減少という形になるし、アジア・ヨーロッパ型の航空会社では、同じ人員数でより多くの路線をカバーできる、という恩恵をもたらす。このような投資効果は年間数十億円に達するという報告もある(文献[6], 図2参照)。

最適トリップ決定問題の解法については、4.で説明するとして、トリップを個々のクルーに割り当てるプロセスを次にご紹介したい。

3.2 月次乗務パターンの割り当て

ひとまず最適トリップが決定された後に、今度は個々のクルーにそれらを割り当てなければならない。このプロセスも、クルー個人個人の資格、条件、希望等が入ってきて、大変込み入った問題となる。また、この段階になると、さらに“文化の違い”が目立ってきて、世界各地で大きな違いがでてくる。

たとえば、北米の航空会社ではクルーが月次乗務パ

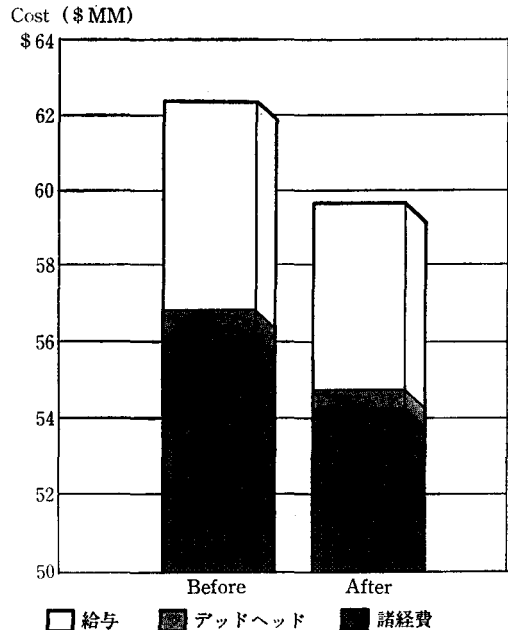


図2 最適トリップの効果例

ーンを入札するシステムになっている。この場合、まず最適トリップを使った月次乗務パターンが人数分だけ表示される。クルーはそれを見て、自分の希望パターンを何個かビッドする。会社側は、出されたビッドと各クルーの勤続年数等を考慮して順次パターンを各クルーに割り当てる。この場合、割り当てのルールは細かく決まっています。タイブレーカーが何段階にも設定されている。

このシステムの問題は、一般的に年巧者は常に条件のよいパターンを選べるが、経歴の浅いクルーには希望のパターンがなかなか回ってこないことにある。最近になってそのような弊害が指摘されて、若干修正されつつあるという話もある。また、上記入札の場合、月次パターンの替わりに、トリップのビッドをするという改良版なども導入されている。この場合には、各クルーの希望トリップに合わせて、訓練や地上勤務も入れた月次乗務パターンが作成されることとなる。

北米以外の地域では、上記の入札システムはなく、個々のクルーの資格や希望に合わせて、個別にトリップをつなぎ合わせて月次乗務パターンを作るという。その場合、あまり一部のクルーに条件のよいトリップが集まらないように、なるべく平等に乗務パターンを割りふる考慮がなされているようである。また、過去の乗務パターンをある程度システムに記憶させておいて、同じトリップに毎回毎回当たらないようにするなどの工夫がなされ

ている。

いずれにしても、世界各国の労働基準や習慣、航空会社の運営方針、クルー組合の有無等によって、種々のバリエーションが出てくる。会社のコスト削減の観点のみでなく、クルーの仕事に対する満足度、生活の質の問題等いろいろな側面をふまえてシステム化されなければならない。

経済的観点からすると、この乗務パターンの割り当てに最適化の入る可能性はあまりない。というのも、割り当てのルールによってすべてのケースが網羅されており、最適化の余地がないことになる。この点からしても上記のトリップの選択を最適する方が、はるかによい投資効果が得られるものと考えられる。

4. 内点法によるクルースケジューリングの解法

最適トリップ選択問題は、古典的整数計画問題の1つ集合被覆(セットカバリング)問題として定式化できる。この場合、1つ1つのフライトが集合の要素に対応し、各トリップが1つの部分集合となり、そのコストも計算される。結果として、元の問題は与えられた多数のトリップから最小コストで複数のトリップを選び、集合要素のすべて(すなわち路線全部)をカバーするというセットカバリング問題に帰着する。

このようなセットカバリング問題はじつはそう簡単には解けないことがわかっている。特に、可能なトリップをより多く生成して、選択候補を多くすればするほど、見つかる解の質は向上するかもしれないが、解法時間が余分にかかってしまう恐れがある。逆に、候補の数を少なくすると最適の組合せが見つかっていてもコストはさほど良くないという結果になってしまう。

以前では、このようなセットカバリング問題を直接解いてクルースケジューリングの解とするというシステムは少なかったが、最近ではアルゴリズムの開発とハードウェアの性能の向上によって最適化システムも可能になっている。とりわけ、セットカバリング問題の元にある線形計画問題が超大型であることより、カーマーカー法を使った解法が注目を集めている。カーマーカー(内点法)については、種々の論文や計算結果が報告されていて、ここでは詳しくは紹介しないが、文献[3]、[5]等を参照されたい。

内点法が従来の単体法に比べて、格段に威力を示すのは変数の数が1万を越えるあたりからである。論文[1]

にあるように、クルースケジューリング用のセットカバリングは、制約式は千程度でも、変数の数は百万を越えるものも存在する。このサイズの問題では、単に線形問題を解くだけでも単体法では難しくなる。内点法により線形問題を解き、その後整数条件を満足する解を見つけるというようなアプローチが必要となってくる。

デルタ航空[6]やカナダ航空[7]では、内点法をベースにしたクルースケジューリングの解法システムが稼働していて非常によい結果を生んでいることが報告されている。投資効果についても、年間数千万ドルのオーダーと推定されている。このような多額の投資効果を可能にするのも、内点法をベースとした解法によって超大型のセットカバリング問題が解けること、またその解が以前の解(AIベース等)よりずっと質のよいスケジュール解であることによると考えられる。従来の方法では限られた数のトリップしか処理できなかったものが、内点法による新解法ソフトウェアにより、より広範囲のトリップの可能性が吟味できるようになった。また、最新のRISCワークステーションの活用により、データベースやグラフィカルユーザインターフェースも含めた新しいスケジュールリング支援システムの開発が可能になっている。

5. 今後の可能性について

航空会社のクルースケジューリングシステムは今後もますます性能が改善されていくものと考えられる。現在のところ、1つの月次乗務スケジュール計算で何時間かかるケースも、将来は計算時間が大幅に短縮されるであろう。

クルースケジューリングは、航空業界に限ったものではない。他の輸送機関、鉄道、地下鉄、バス等にも共通した問題が存在する。今後は、そのような業界にも同じようなワークステーションベースのスケジュール最適化支援システムが開発導入され、よりよいスケジュールリングが可能になるものと思う。

参考文献

- [1] Bixby R. et al.: Very Large-scale Linear Programming: A Case Study in Combining Interior Point and Simplex Methods, *Operations Research*, Vol. 40, No. 5, (1992), 885-897.
- [2] コンピュートピア: 運行乗務員乗務割作成支援システム: スケジューラのオーバーロードを解消, 1988

年11月号.

- [3] 伊倉義郎: 検証が進むカーマーカー法の実用的価値と応用の可能性, 日経コンピュータ, 1991年6月17日号, 149-156.
- [4] 片山修: 日航の運命, NESCCO BOOKS, 1987年.
- [5] 水野真治: 線形計画問題に対する内点法について 第1回RAMPシンポジウム論文集, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 1989年10月, 15-25.
- [6] Takahashi, D.: New Formula Taking Off; Delta Purchases Bell Labs System for Scheduling, *Dallas Times Herald*, April 1, 1989.
- [7] *Toronto Star*: Canadian Airlines buys System for Crews, January 9, 1992.

●最新刊●

Perlの国へようこそ

前田 薫他著

A5・定価2472円

ユーザのためのUNIX

鬼頭繁治著

A5・定価2781円

ツールとしてのUNIX

深澤良彰編著

A5・定価2060円

現代数学の風景

野崎昭弘編著

A5・定価2781円

数学のための英語案内

野水克己著

A5・定価2000円

新時代のコンピュータ総合誌

Computer Today

7月号/発売中/定価930円

特集

ステレオグラム進化論

3Dステレオグラムはなぜ立体に見えるのか? どうやったら作れるのか? そのしくみとプログラムを公開。

3次元を復元する

2次元図を読みこんで3次元図形を構築するための研究と製品を紹介する。

月刊誌

数理科学

8月号/発売中/定価980円

推 論

「黄昏の領域」の定式化

推論について/論理と推論/定性推論/演繹の認知的モデル/確率推論/人は論理的に推論しているか?/直観的推論

サイエンス社

東京都千代田区神田須田町2-4 安部徳ビル

☎ 03-3256-1091 振替 東京7-2387